

BEM と FEM による直接逆解析法の適用例の比較

神戸大学工学部 学○増田隆司・正 清水則一・正 桜井春輔

1. はじめに

直接逆解析法 (DBAP) は、トンネル掘削時に計測される変位より、地山の弾性係数および初期応力を推定する方法である¹⁾。従来の DBAP は、有限要素法 (FEM) により構成されているが、これを、境界要素法 (BEM) を用いて構成すれば、DBAP の現場への適用性は、さらに向上すると考えられる。つまり、BEM の特性により、計算容量、時間の節約、入力データ作成の省力化が可能となる。本報告では、BEM と FEM のそれぞれにより構成される DBAP を使い、実測結果の逆解析を行った結果を示す。そして BEM の DBAP が有用であることを示す。なお、本文では二次元平面ひずみ状態を仮定する。

2. 直接逆解析法の概要

DBAP では、まず、次の仮定を設ける。①地山と吹付けコンクリート覆工 (以下、吹付けと略す) を等方等弾性体として取扱う。②初期応力は、トンネル周辺で一様とする。計測点における変位 $\{u\}$ は次式で表わされる。²⁾

$$\{u\} = [F]\{\sigma_o^*\} \quad (1)$$

ただし、 $\{\sigma_o^*\} = \{\sigma_{11}^o/E_R, \sigma_{22}^o/E_R, \sigma_{12}^o/E_R\}^T$ ($\sigma_{11}^o, \sigma_{22}^o, \sigma_{12}^o$: 地山の初期応力、 E_R : 地山のヤング係数)、 $[F]$ は、①トンネルと吹付けの形状、②地山と吹付けのポアソン比 (ν_R, ν_S) ③地山と吹付けのヤング係数比 (E_R/E_S) ④計測位置およびパターン、の関数となる。ここで、①④は対象としているトンネルに対して定まるため、②を既知とすれば、式 (1) において未知パラメーターは、 E_R/E_S と $\{\sigma_o^*\}$ となる。測定変位から、これらのパラメーターを求める手順を図-2 に示す。

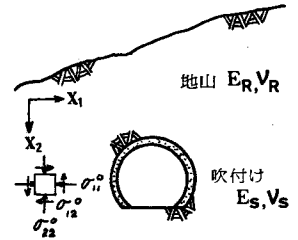


図-1 初期応力状態にある地山に掘削されたトンネル

3. 適用例

三つのトンネルについて逆解析する。それぞれのトンネルに対して、用いた諸量を表-1 に示す。図-3~5 は、トンネル形状、要素分割および、測定変位と BEM 逆解析による計算変位の比較図である。表-2~4 は、逆解析によって得た初期応力とヤング係数である。BEM 逆解析によって、FEM 逆解析結果と同程度の解を得るにあたって、節点数にして $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$ 倍、時間にして約 $\frac{1}{3}$ 倍であることがわかった。

4. むすび

BEM の利用によって、直接逆解析法の効率化が可能となる。

謝辞 FEM の逆解析では、野網早男 (神大研究生)、進士正人 (神大院生)、武内邦文 (元神大院生)、各氏の結果を使わせていただきました。心からお礼を述べ、謝辞と致します。

表-1 インプットデータと節点数

	E_S	ν_S	ν_R	R_i	BEM の節点数	FEM の節点数
A トンネル	—	—	0.30	—	28	153
B トンネル	—	—	0.30	—	53	215
C トンネル	40000% ³⁾	0.25	0.30	0.30	94	148

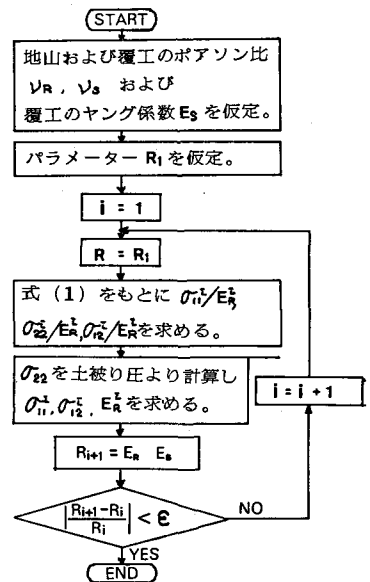


図-2 解析手順

T.Masuta, N.Shimizu, S.Sakurai

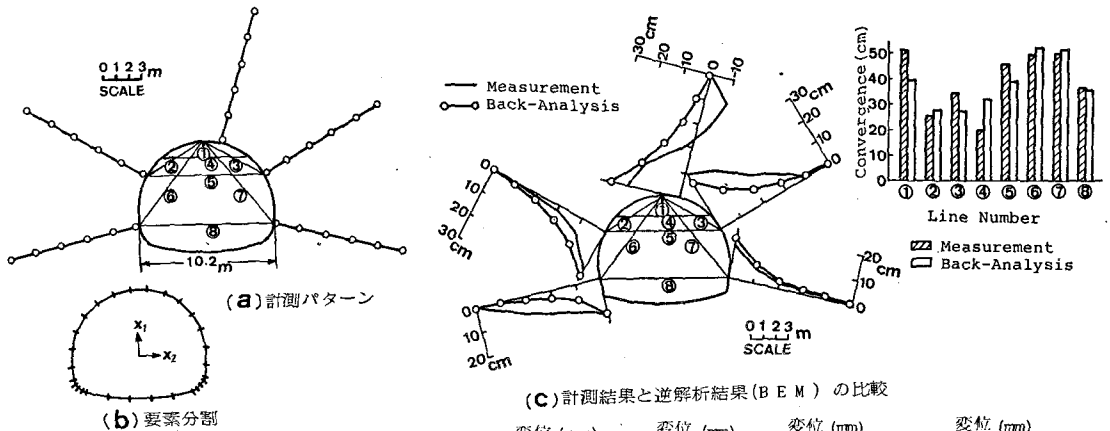


図-3 A トンネルの場合

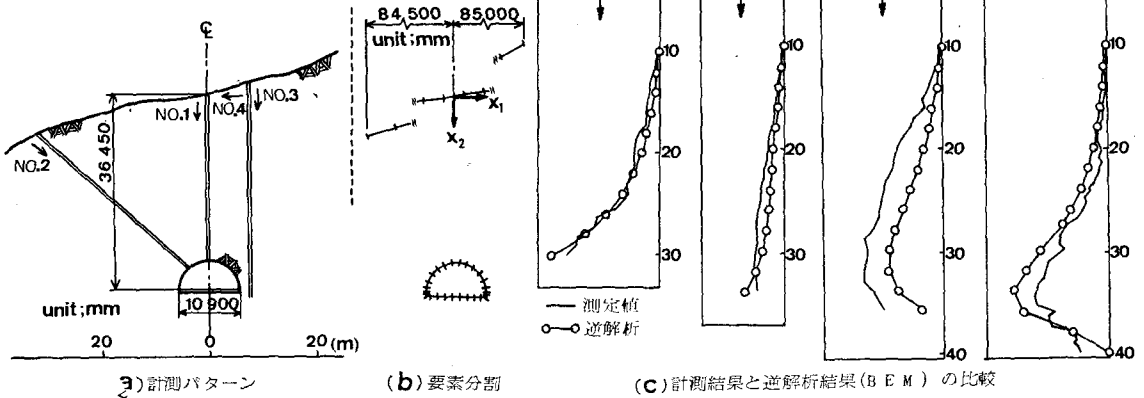


図-4 B トンネルの場合

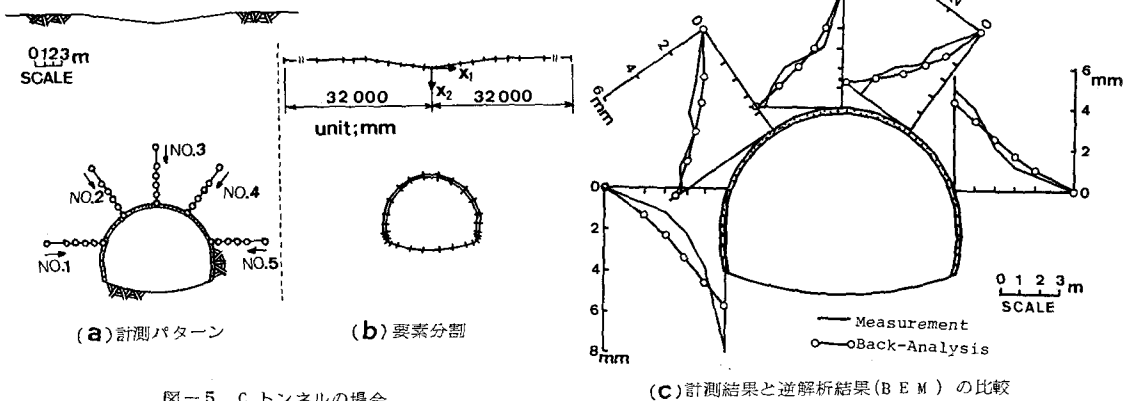


図-5 C トンネルの場合

表-2 A トンネルの逆解析結果

	σ_{11}^0	σ_{22}^0	σ_{12}^0	E_R
BEM	73.7	100.0	0.3	1739.1
FEM	80.3	100.0	0.4	1641.8

ただし、圧縮を正とする。(単位 MPa)

表-3 B トンネルの逆解析結果

	σ_{11}^0	σ_{22}^0	σ_{12}^0	E_R
BEM	10.96	9.50	-2.54	14883.2
FEM	9.25	9.50	-2.95	11875.0

ただし、圧縮を正とする。(単位 MPa)

表-4 C トンネルの逆解析結果

	σ_{11}^0	σ_{22}^0	σ_{12}^0	E_R
BEM	4.61	4.80	0.61	2281.4
FEM	5.96	4.80	0.66	2696.6

ただし、圧縮を正とする。(単位 MPa)

参考文献 1) 桜井・武内、土木学会論文報告集、No. 337、1983、pp 137、2) 増田隆司、神戸大学工学部卒業研究、1984